

核融合用レーザーガラス開発のエピソード

HOYA(株) 泉谷 徹郎

Unknown Episode on the Development of Laser Glasses for Nuclear Fusion

HOYA Corporation Tetsurou Izumitani

1. 研究開発の発端

それは1971年頃だったと思う。阪大の山中先生がHOYAの木造2階の研究室に見えられて、“泡の出ないレーザーガラス”をつくってくれと云われた。よく見ると、それは泡ではなく、Pt異物から生じた小さいクラックだった。幸い当社にはPt異物の入らない光学ガラスの溶融方法が確立されていたので、それを利用して泡のでないレーザーガラスを納品することができた。

2. 私の疑問

当時最良のガラスと云われたOwens Illinois社のED-2 (Nd含有リシウムケイ酸ガラス) が何故いいガラスなのか? ED-2は果たして最良のレーザーガラスだろうかということであった。私は最良のガラスを求めることを始めた。

最良のガラスというのは何を基準にして最良のガラスなのか? それは発振し易いガラス、ゲイン係数の大きいガラス

$$R_1 R_2 \ln(g - \gamma) l = 1$$

の条件が満たされる時発振する。R₁, R₂は両端の鏡の反射率、gはゲイン係数、γは損失係数、lはロッドの長さである。γは吸収や散乱で決定されるが、ゲイン係数は何で決まるのか?

$g = \sigma \Delta N$ と定義されるが、σは誘導放出係数、ΔNは蓄積エネルギーである。g = σNτ と書くことができ、Nは1cc中のNd³⁺イオンの数、τは蛍光寿命である。問題はσだ。σはどうして決まるのか、ガラス組成や構造とどういう関係にあるのか? 東大物性研の塩谷先生や菅野先生にお伺いしても明確な答が得られない。四苦八苦した

末、 $g = \sigma \Delta N \propto \frac{A}{\Delta \lambda} \cdot \Delta N = \frac{\int I d\lambda}{\Delta \lambda} = I_p$ なる関係を見出した。つまりゲイン係数は蛍光強度のピーク値に比例するという関係である。

3. LHG-8の誕生

それから研究は一滴千里に進んだ。ガラス組成と蛍光強度のピーク値との関係を実験した。そして見出した、ケイ酸塩ガラスよりリン酸塩ガラスの方が高い蛍光強度を与えるということ（図1）。ついにED-2に優るガラスを見出すことができたのである。

Lubin博士のコメント——1974年、山中湖の近くのホテルでレーザーに関する日米セミナーが開かれた。私の新しいリン酸塩ガラスの発表に対し、Rochester大学のLubin教授がコメントされた。“誘導放射係数が高いのは結構だが、もう一つ考えて貰いたい、self-focusingを防ぐために屈折率の非線形係数n₂を小さくしてもらいたい”。私たちは一年かかってn₂の小さいLHG-5をつくった。

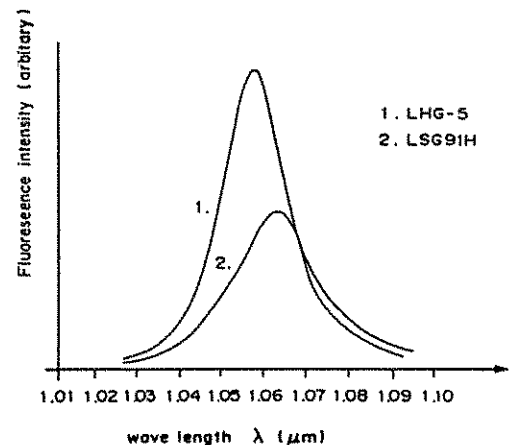


Fig.1 Fluorescence of the phosphate laser glass LHG-5 and silicate laser glass LSG-91H

物性研、黒田助教のコメント——“このリン酸塩ガラスは面白い挙動をする。ケイ酸塩ガラスは温度が上がると焦点距離が短くなるのに、このリン酸塩ガラスは焦点が動かない”。私たちは光路差の温度係数(ds/dT)を0にするように組成改良した。

σ , n_2 , ds/dT が改良されて誕生したのが LHG-8 である。1977 年の話である。このガラスは最初 Owens Illinois との競合の末、Rochester 大学に採用され、つづいて大阪大学、Lorence Libermore 研究所 (英)、Lémeil 研究所 (仏)、Rutherford 研究所 (英) と世界各国で採用されるに至った。

4. 製造にまつわるエピソード

製造上の困難は均一なガラスの製造、ロッドやディスクの成形等の問題であったが、小川、北山等の努力によって乗り越えた。最後に残った問題は残留水分と Pt 異物である。

残留水分——ガラス中に OH 基があると、Nd³⁺ の ⁴F_{3/2} から OH- 基の 3 ω に等しいエネルギー準位に遷移して、発光寿命が短くなる。そこで水を除くことが大問題であった。当初は、蒸気圧の低い 1~2 月にしかレーザーガラスは溶かせないといった笑えない話があった。サンフランシスコに工場をつくったのも水分を押さえるためであった。然し、それでも解決しなかった。この時、津留君という大学を出て間もない研究者がいた。彼は“光通信用のガラスと同じ処理をレーザーガラスにもやりましょう”と提案した。青天の霹靂、頭をガンとなぐられた思いであった。そして、直ちに実行した。レーザーガラスの中の水は取れた。梅雨の最中においても。

Pt 異物——ガラス中に数 μ の白金異物が存在すると、レーザー光が吸収されて、Pt が蒸発し、蒸気圧によって微小クラックを生じる。それが問題になったのは 1985 年、Libermore の Nova 装置でレーザー光を 3J/cm² から 10J/cm² にあげた時だった。7000 個近くのダメージが起こった。私たちは青くなった。Libermore で会議が早速もたれた。私は“白金をイオン化すればよい”と主張した。そして、Pt のガラスにおける溶解度を測定した。その実験の中で松川君が面白い発見をした。あるガスで処理すると白金異物が溶ける。こ

の発見によりガラス中の Pt 異物は 0.2 ケ/l にまで減った。1986 年のことである。

5. その他のことども

LHG-8 が出来上がった時、一つの問題が私の頭に残った。何故リン酸塩ガラスが良いのか。 σ に対するアルカリ土類イオンの挙動がケイ酸塩ガラスのそれと異なる。それは何故か？

σ については我々は Nd³⁺ の 0.88 μ の吸収係数スペクトルから、Fuchtbauer-Ladenburg の式を用いて計算した。

$$A_{0,ss} = \frac{8\pi n^2}{\lambda^2} \frac{q_i}{q_j} \frac{1}{N_0} \int k d\nu$$

その後 1973 年、Libermore 研の Krupoke は Judd-Ofelt 理論を用い、より多くの吸収スペクトルを用いて、Intensity Parameter $\Omega_{2,4,6}$ を求め、A 係数と σ を求める方式を提案した。

問題は Ω の物理的意味である。Krupoke と Weber も Ω に対して何ら物理的意味を明らかにしなかった。イスラエル大学の Reifeld が

$$\Omega \propto |A_{ip}|^2 |\Xi|^2$$

なる式を提案した (1975 年)。ここで A_{ip} は活性イオンの周りの配位子場の非対称性、 Ξ は共有結合性である。私と虎溪君は早速実証にとりかかった。そして A 係数が E_u³⁺ の ⁵D₀-⁷F₄/⁵D₀-⁷F₁ の発光強度比に対応することを見出した。ここで ⁵D₀-⁷F₄, ⁵D₀-⁷F₁ は Eu³⁺ の電気双極遷移、磁気双極遷移である。私たちはこれから、Nd³⁺ の A 係数は非対称性によるという (誤った) 結論を出した (1982 年)。最近 Judd-Ofelt の理論は我が国の若い研究者の興味をそそった。そして、'92 年、京大の田部、大八木、九大の投野、武部といった 20 代の研究者が Ω_2 , $\Omega_{4,6}$ についての面白いデータを世界で初めて発表した。こうして Ω_2 , $\Omega_{4,6}$ の物理的意味は解明されてきた。そして結論はこうである。“Nd³⁺ の A 係数 (輻射遷移確率) は $\Omega_{4,6}$ に決定される。 $\Omega_{4,6}$ は共有結合が増す程減少する”。つまり、リン酸塩ガラスはイオン性結合であるために $\Omega_{4,6}$ が大きく、また強い電場の陽イオンが近付くと、反って O²⁻ イオンの電子密度が増して $\Omega_{4,6}$ は減少する。これによって最初の疑問は解決した。委しいことは 93 年 1 月のガラス討論会にゆずりたい。